

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

Efektor pro manipulační subsystém Hercules  
The Effector for Manipulation Subsystem Hercules

Student:

Jan Homola

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Homola**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: Efektor pro manipulační subsystém Hercules  
The Effector for Manipulation Subsystem Hercules

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí efektoru pro manipulační subsystém Hercules.
2. Proveďte výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty rozpracujte do úrovně sestavných výkresů s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
4. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
5. Závěr.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



---

prof. Dr.Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry

---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5.2010

.....

(podpis)

## Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2010

Jugoslávská 18 b

Ostrava – Zábřeh

700 30

.....  
Jan Homola

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

HOMOLA, J. *Efektor pro mobilní subsystém Herkules: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2010, 52 s. Vedoucí práce: Kárník, L.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem efektoru s nosností 4 kg pro mobilní robot Herkules. Součástí práce jsou varianty řešení a výběr optimální varianty na základě hodnotové analýzy. Optimální varianta je rozpracována do úrovně sestavného výkresu a 3D modelu s využitím CAD systému Pro/ENGINEER. Práce obsahuje kontrolu namáhaných částí v programu MITCalc, cenovou kalkulaci a montážní postup efektoru.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

HOMOLA, J. *The Effector for manipulation subsystem Herkules: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, 52 p. Thesis head: Kárník, L.

Bachelor Thesis is dealing with constructional proposal of an effector with deadweight 4 kg for mobile robot Herkules. Parts of this work are alternative solution and selection of the optimal solution based on value analysis. The optimal variant is developed to the level drawings and 3D model using CAD systems Pro/Engineer. The work contains the control exposed part, price calculation and assembly process.

## Obsah

Seznam použitých značek .....	9
0 Úvod .....	10
1 Rozbor současného stavu efektorů a mobilních robotů.....	11
1.1 Efektory s paralelním pohybem čelistí.....	12
2 Výběr několika druhů mobilních robotů .....	14
3 Požadavkový list.....	18
4 Výpočet požadované uchopovací síly .....	19
4.1 Síla působící při pohybu nahoru .....	19
Výpočet síly působící na efektor .....	20
4.2 Koeficient bezpečnosti .....	20
4.3 Určení síly potřebné k uchopení a udržení předmětu manipulace .....	20
Výpočet potřebné síly pro uchopení objektu manipulace .....	21
5 Varianty řešení.....	22
5.1 Varianta I.....	22
5.2 Varianta II .....	24
5.3 Varianta III.....	26
5.4 Varianta IV.....	28
7 Hodnotová analýza .....	30
7.1 Hodnocená kritéria .....	30
7.2 Hodnoty kritérii.....	30
7.3 Určení významnosti kritérii.....	31
7.4 Hodnocení jednotlivých variant .....	31
7.5 Výpočet celkových indexů variant a výběr optimální varianty .....	32
7.6 Zhodnocení vybrané varianty.....	32
8 Konstrukce efektoru .....	33

8.1	Lineární vedení.....	35
9	Návrh pohonu .....	36
9.1	Výpočet potřebného momentu .....	36
9.2	Výpočet potřebných otáček.....	37
9.3	Technické parametry pohonu.....	38
10	Kontrola namáhaných částí .....	39
10.1	Kontrola ozubeného pastorku s hřebeny .....	39
10.2	Kontrola redukční hřídele .....	40
10.3	Kontrola pera.....	41
10.4	Kontrola ložiska .....	41
10.5	Kontrola šroubů spojujících čelisti s palci .....	42
11	Montážní postup .....	43
11.1	Nasazení redukční hřídele s ložiskem .....	43
11.2	Spojení příruby s pohonem .....	43
11.3	Montáž vedení.....	44
11.4	Montáž vedení na přírubu .....	44
11.5	Spojení hřebenů s lineárním vedením .....	45
11.6	Našroubování čelistí a nasazení krytu.....	45
12	Řízení efektoru .....	46
13	Ekonomické zhodnocení .....	47
14	Závěr.....	49
15	Seznam použité literatury .....	50
16	Seznam příloh.....	52



## Seznam použitých značek

Symbol	Význam	Jednotky
$\alpha$	úhel záběru	°
$a$	zrychlení	$\text{ms}^{-2}$
$\beta$	úhel sklonu zubů	°
$b_1$	šířka pastorku	mm
$b_2$	šířka hřebenu	mm
$d_1$	průměr roztečné kružnice	mm
$d_{a1}$	průměr hlavové kružnice	mm
$F_c$	síla působící na čelisti	N
$f$	součinitel tření	
$g$	gravitační zrychlení	$\text{ms}^{-2}$
$i_p$	převodový poměr převodovky	
$k$	koefficient bezpečnosti	
$l$	délka hřebenu	mm
$M_m$	moment na motoru	
$M_p$	moment na výstupu z převodovky	Nm
$M_{PaH}$	moment pastorku	Nm
$m$	modul pastorku a hřebenu	
$m_{OM}$	hmotnost objektu manipulace	kg
$\mu_L$	účinnost ložisek	
$\mu_p$	účinnost převodovky	
$\mu_{PaH}$	účinnost pastorku a hřebenu	
$n_s$	otáčky pastorku	$\text{ot/min}^{-1}$
$v_H$	rychlost hřebenu	$\text{ms}^{-1}$
$z$	počet zubů pastorku	

## **0 Úvod**

Cílem této práce je nahrazení stávajícího efektoru, s nosností 1 kg a rozsahem pohybu čelistí od 0 do 60 mm, na mobilním robotu Herkules, efektozem s větším rozsahem pohybu čelistí a větší nosností.

Mobilní robot Herkules je vyvíjen jako víceúčelové zásahové vozidlo pro záchranu osob i materiálních hodnot při katastrofách, požárech, povodních, atd. Při své činnosti, se může mobilní robot dostat do situace, kde je třeba pro zdárné splnění činnosti odstranit nebo přemístit překážku či nebezpečný předmět. K tomuto účelu mu slouží manipulační ústrojí společně s efektozem.

Pro mobilní roboty typu Herkules se nejčastěji používají čelist'ové efektozy, které můžeme rozdělit podle počtu uchopovacích čelistí. Minimálně jsou potřebné dvě čelisti a maximální počet není omezen, ale snahou je tento počet minimalizovat. Nejvíce se u mobilních robotů typu Herkules využívají dvoučelist'ové efektozy.

# **1 Rozbor současného stavu efektorů a mobilních robotů**

## **Mobilní robot**

Mobilita je specifickou vlastností, která se může vyskytovat u všech druhů robotů a je realizována podvozkem nebo jiným systémem, který umožňuje pohyb robotu (např. kráčející roboty apod.).

Nejčastější typy podvozků jsou kolové, pásové nebo kráčející. Kolové podvozky jsou energeticky výhodnější a jejich ovládání je jednodušší (např. každé hnací kolo může mít samostatný pohon, což zjednodušuje změnu směru pohybu), u pásových a kráčejících je nutné počítat s většími ztrátami třením. Ve prospěch kráčejícího ústrojí lze naopak uvést možnosti použití ve značně nerovném terénu s mnoha překážkami, kde nestačí už ani pásový podvozek.

Oblast jejich aplikace je široká – jaderný průmysl, zdravotnictví, stavebnictví, vojenské a policejní úlohy, likvidace požárů, práce v nebezpečném prostředí – diagnostika, monitoring, údržba, destrukce, čištění, hygiena, transport, manipulace.

## **Robotické rameno**

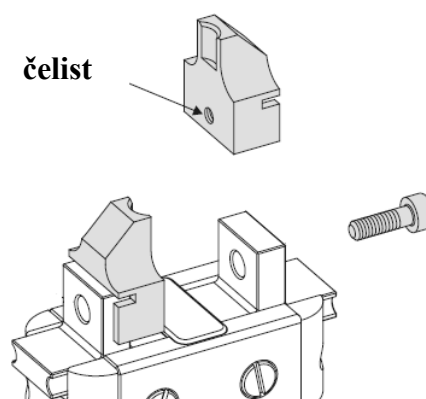
Robotické rameno – manipulátor, má podobnou funkci jako lidská paže. Vazby ramene jsou spojeny klouby umožňující buď rotační, nebo translační (lineární) pohyb. Na konci tohoto ramene je umístěn efektor, obdoba lidské ruky, viz obr. 1.1.



*Obr. 1.1 – Robotické rameno*

## Efektor

Efektory jsou nedílnou součástí manipulačních systémů robotů. Slouží k tomu, aby robot nebo manipulátor mohl předmět manipulace přemístit a uchopit. Při zachycení objektu v efektoru jsou v rovnováze vnější síly, působící na objekt. Síly, jejichž působením je držen objekt, označujeme jako úchopné síly.



**Obr. 1.2 – Vyměnitelné čelisti**

Hlavními částmi struktury efektoru jsou tzv. úchopné prvky – čelisti, viz obr. 1.2, které jsou umístěny na nosné části efektoru. Čelisti přicházejí do styku s povrchem objektu a realizují zachycení objektu v hlavici. Dle pohybu čelistí můžeme efektory rozdělit:

## Efektory

- s paralelním pohybem
- s radiálním pohybem

### 1.1 Efektory s paralelním pohybem čelistí

#### 1) Efektory s paralelogramem

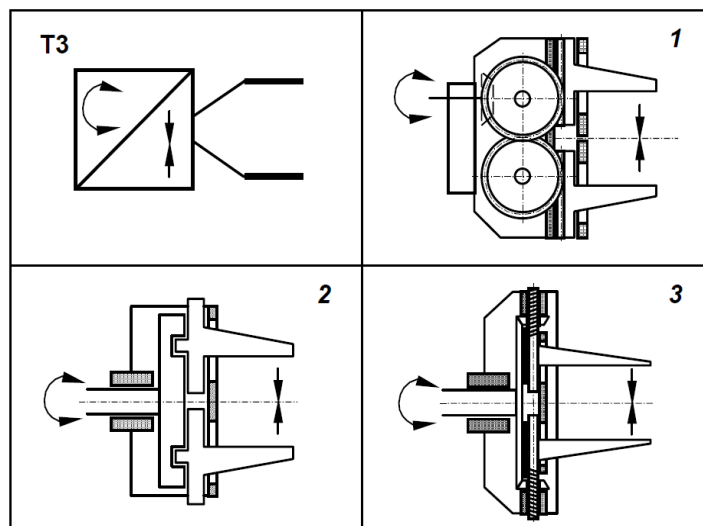
Paralelogram (obr. 1.3) způsobuje, že jsou čelisti vůči sobě vždy rovnoběžné a proto lépe uchopí předmět manipulace. Paralelogram má i své zápory – zvyšuje hmotnost efektoru, snižuje účinnost důsledkem tření v kloubech a snižuje rozsah pohybu.



**Obr. 1.3 – Efektor s paralelogramem**

## 2) Efektory s posuvnými čelistmi

Příklady řešení posuvných čelistí, viz obr 1.4.[3]



*Obr. 1.4 – Řešení posuvných čelistí*

## 3) Efektory s paralelním pohybem, realizovaným pomocí ozubených kol

Paralelní pohyb je uskutečňován soustavou ozubených kol. Nevýhodou tohoto řešení je složitost konstrukce a výrobní náročnost. Ozubená konstrukce je nechráněná, a proto je citlivá na vnější vlivy prostředí, viz obr. 1.5.



*Obr. 1.5 - Efektor*

## **2 Výběr několika druhů mobilních robotů**

### **TALON GEN IV Engineer**

TALON vojenské roboty jsou silné, odolné a lehké pásové vozidla, které jsou používány pro odstraňování výbušných zařízení, průzkum, komunikaci a záchranu. Jeho použití je možné za každého počasí, ve dne i v noci díky velkému množství kamer a senzorů. Je schopný se pohybovat prakticky v jakémkoliv terénu.

Na rameno tohoto robota může být umístěna řada zbraňových platform a robot se tak stává bojovým vozidlem, viz obr. 2.2.

Tyto mobilní roboty jsou v aktivní vojenské službě od roku 2000, kde byly poprvé nasazeny v Bosně. Maximální rychlost 8,5 km/h dovoluje těmto mobilním robotům držet krok i s běžícím vojákem. Talon mobilní roboty pomáhaly i po útocích na WTC 11. září 2001.[16]



***Obr. 2.1 - TALON GEN IV Engineer***

#### **Základní informace:**

<b><i>Hmotnost:</i></b>	52 kg
<b><i>Max. délka ramene:</i></b>	2,1 m
<b><i>Max. nosnost ramen:</i></b>	27 kg
<b><i>Počet stupňů volnosti:</i></b>	4
<b><i>Efektor:</i></b>	s paralelním pohybem čelistí
<b><i>Maximální rozevření:</i></b>	152 mm



***Obr. 2.2 – Zbraňové platformy***

## Mark V-A1

Policejní robot Mark V – A1 byl navržen tak, aby umožnil, přístup k situacím, které jsou nedostupné nebo nebezpečné pro samotné policisty. Díky robotickému ramenu se sedmi stupni volnosti může pohodlně a přesně manipulovat s předměty. Mimo robotické rameno nese robot několik druhů kamer a senzorů, které mu umožňují monitorovat terén a danou situaci, viz obr. 2.3.



*Obr. 2.3 – mobilní robot Mark V-A1*

V případě nutnosti může být MARK V A1 vyzbrojen vodním dělem nebo i brokovnicí.

### **Pohon:**

Pohon obstarávají 4 elektromotory, které dokážou vyvinout rychlost, až 5,6 km/h. Díky pásům může robot zdolávat překážky až 40 cm vysoké a stoupání až 45°.[15]

### **Základní informace:**

<b>Max. délka ramene:</b>	2,9 m
<b>Max. nosnost ramen:</b>	27 kg
<b>Počet stupňů volnosti:</b>	7
<b>Efektor:</b>	s paralelním pohybem čelistí
<b>Maximální rozevření:</b>	305 mm



## BROUČEK I

BROUČEK I (obr. 2.4) je dálkově ovládaný robot určený pro zásahy v rizikovém prostředí, při požáru, v prostředí s nebezpečím výbuchu a při chemickém nebo biologickém ohrožení.

### **V tomto prostředí může:**

- manipulovat s předměty o hmotnosti do 150 kg
- hasit požár proudnicí nesenou na paži
- pomocí čelistí stříhat hadice, dráty nebo lana
- provést průzkum nebezpečné oblasti

### **Robotické rameno**

Paže robota je plně hydraulická s pěti stupni volnosti a je přimontována na vrchní straně skříně, viz obr. 2.5. Vysoká pohyblivost a velký manipulační prostor zaručují snadnou manipulaci i s těžkými předměty, přičemž dosah paže je 2,5 m do výšky a 0,9 m vpřed. Na paži jsou umístěny univerzální čelisti s radiálním pohybem umožňující uchopit rozměrné i malé předměty a díky své síle jsou dokonce schopny stříhat některé materiály, jako jsou hadice, slabší dráty nebo lana.

### **Pohon**

Pohon obstarávají dva elektromotory pro pohyb pásů a hydraulický agregát, který přes elektrohydraulické rozvaděče pohání válce paže. Pásky dovolují robotu překonávat osamocené překážky až 15 cm vysoké a díky pryžovým návlekům na pásech může robot zdolávat stoupání až 30° stupňů nebo schody a to jak směrem nahoru, tak i dolů.



*Obr. 2.4 – Brouček I*



*Obr. 2.5 – požární robot Brouček I*



## Mobilní robot Herkules

Mobilní robot Herkules (obr. 2.5) patří mezi servisní roboty, který je vyvíjen jako víceúčelového zásahového vozidla pro záchranu osob i materiálních hodnot, při katastrofách, požárech, povodních, atd.

### Manipulace

Manipulační nadstavba se třemi stupni volnosti a nosností 1,1 kg je kompletně navržená a realizovaná katedrou robototechniky.

Konec ramene je opatřen dvočelist'ovým efektozem se softwarově volitelnou silou stisku (7 úrovní v každém směru).



*Obr. 2.5 – Herkules*

### Řízení

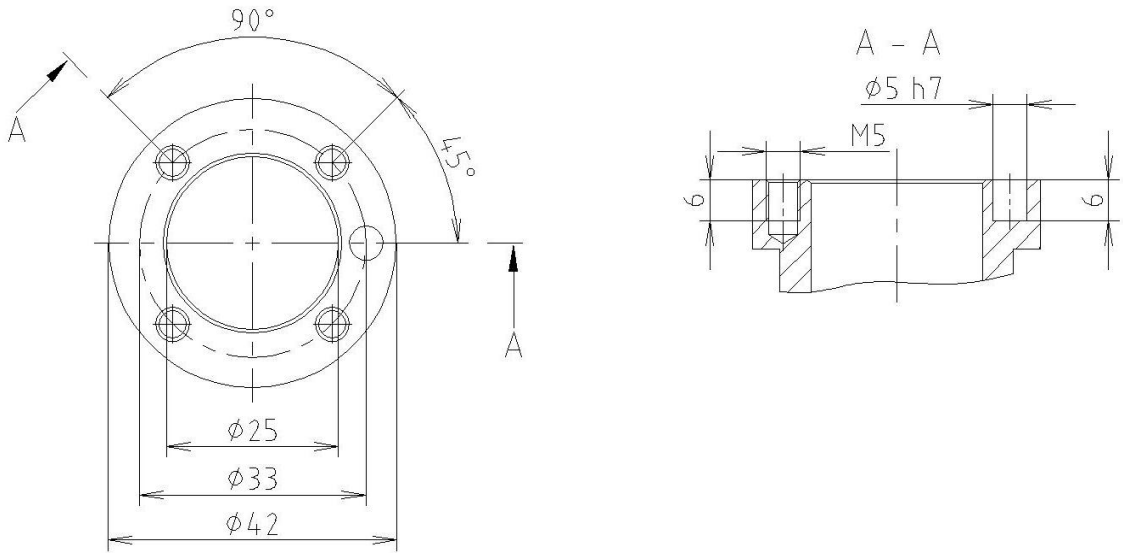
Herkules je možno řídit z operátorského kufříku, viz obr. 2.6, který je opatřen potřebnou elektronikou, vysílací a přijímací technikou a notebookem s dotekovou obrazovkou.

Všechny důležité funkce je možno ovládat pomocí jediného bezdrátového ovladače. Operátor má také k dispozici 3D brýle pro stereovizi a/nebo polohový senzor pro ovládání ramene metodou kopírování pohybu ruky v prostoru.[17]



*Obr. 2.6 – Operátorský kufřík*

### 3 Požadavkový list

Požadavkový list	
Obecné požadavky	
Druh činnosti	Manipulace
Robotické rameno	
Druh pohonu ramene	Elektromotory
Nosnost koncového členu	5,5 kg
Zrychlení koncového členu	$2,5 \text{ ms}^{-2}$
Připojovací člen robotického ramene (INTERFACE)	
	
Uchopovaný objekt	
Materiál	Ocel, plast, guma....
Tvar	Základní tvary typu kvádr, válec
Efektor	
Konstrukce	Jednoduchá s ohledem na výrobní možnosti katedry
Rozevření čelistí	100 mm
Hmotnost	Minimalizace hmotnosti (maximálně 1,5 kg)
Nosnost	4,5 kg
Pohon	Elektromotor
Umístění pohonu	V trubce nebo vedle trubky
Čelisti	Snadno vyměnitelné dle uchopovaného předmětu

*Tab. 1 – Požadavkový list*

## 4 Výpočet požadované uchopovací síly

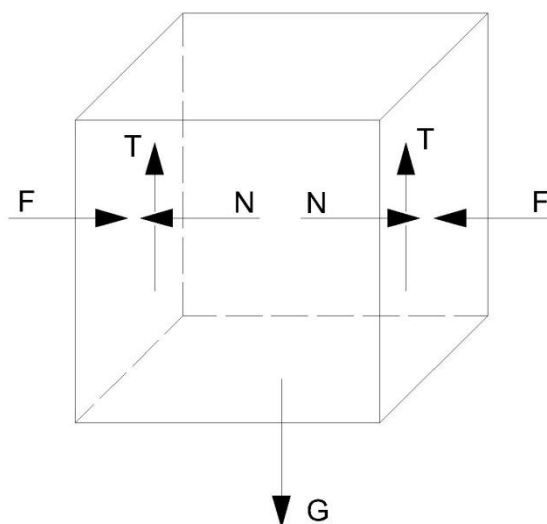
Výpočet je důležitý pro bezpečné uchopení předmětu. Proces sevření předmětu manipulačním efektem a proces manipulace s předmětem je podmíněn rovnováhou vnějších sil zatěžujících čapadlo a vnitřních sil vyvolaných mechanismem čapadla.

Zadané hodnoty	
Hmotnost předmětu:	$m_{OM} = 4,5 \text{ kg}$
Gravitační zrychlení:	$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$
Koeficient tření mezi čelistmi a předmětem:	$f = 0,3$
Zrychlení koncového bodu:	$a = 2,5 \text{ ms}^{-2}$

Tab. 2 – Zadané hodnoty pro výpočet uchopovací síly

Součinitel tření  $\mu$ , je volen mezi ocelí a pryží. Hodnota je pouze přibližná a závisí na jakosti ploch uchopovaného předmětu a také na prostředí, ve kterém dochází k manipulaci.

### 4.1 Síla působící při pohybu nahoru



Obr. 4.1 – Působící síly

Výpočet síly působící na efektor		
$m_{OM} = 4,5 \text{ kg}$ $a = 2,5 \text{ ms}^{-2}$ $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$	$F_1 = m_{OM} \cdot (a + g)$ $F_1 = 4,5 \cdot (2,5 + 9,81)$	$F_1 = 55 \text{ N}$

Rychlost otáčení ramene je malá, tudíž je síla způsobená rotací ramene zanedbatelná. Výsledná síla  $F_c$  se tedy rovná síle  $F_1 = 50 \text{ N}$ .

## 4.2 Koeficient bezpečnosti

Určení koeficientu bezpečnosti			
Koeficient	Význam koeficientu	Poznámka	Hodnota
$k_1$	Hmotnostní koeficient	Bezpečná funkce při 130 % max. nosnosti	1,3
$K_2$	Způsob uchopení	Dvojstranné uchopení	1,3
$K_3$	Dynamické charakteristiky robotu	Amplitudy, frekvence, doba útlumu	1,2
$K_4$	Provozní podmínky	Běžné	1
Výsledný koeficient získaný vynásobením jednotlivých koeficientů			2

Tab. 3 – Koeficient bezpečnosti

## 4.3 Určení síly potřebné k uchopení a udržení předmětu manipulace

$$G - T = 0$$

$$F - N = 0$$

$$T = N \cdot f \Rightarrow N = \frac{T}{f}$$

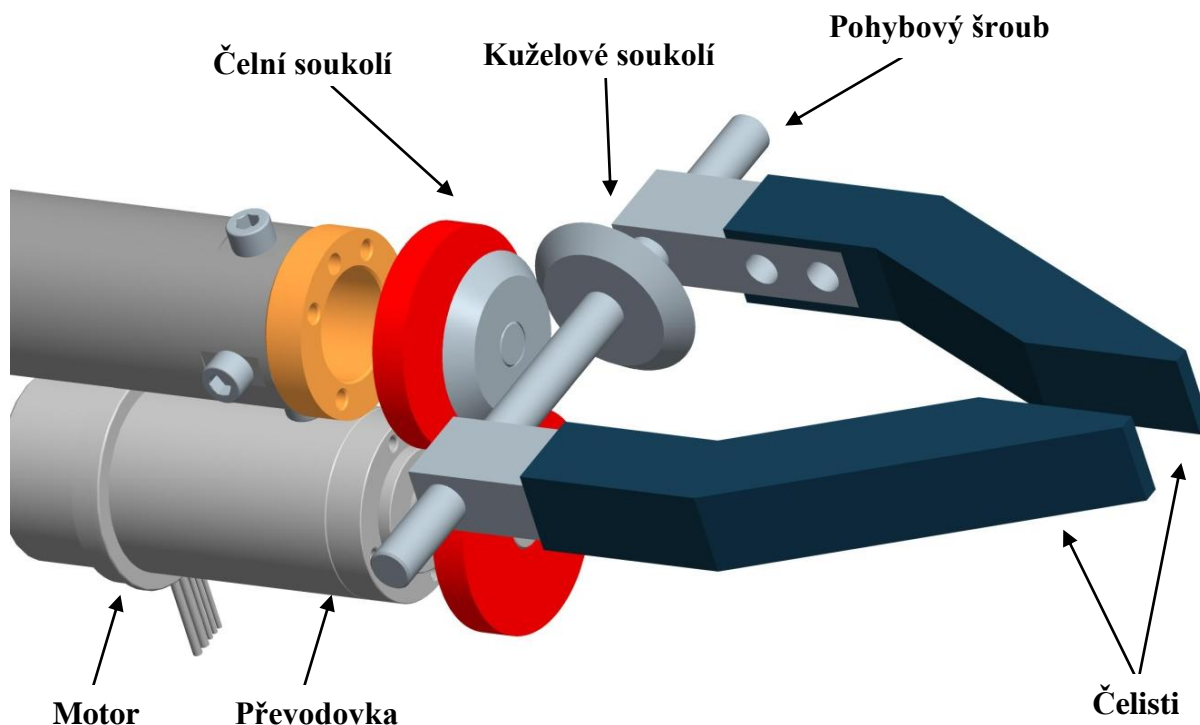
Výpočet potřebné síly pro uchopení objektu manipulace		
$F_c = 55\text{ N}$ $k = 2$ $f = 0,3$	$F = k \cdot \frac{F_c}{f}$ $F = 2 \cdot \frac{55}{0,3}$	$F = 370\text{ N}$

Na základě výpočtu byla stanovena potřebná uchopovací síla pro udržení objektu manipulace (dále jen OM) o hmotnosti 4,5 kg na 370 N.

Pro zajištění bezpečného uchopení OM je do výpočtu zahrnut i koeficient bezpečnosti  $k$ , který je určen na základě tabulky tab. 3.[5]

## 5 Varianty řešení

### 5.1 Varianta I



*Obr. 5.1 – Varianta I*

Varianta I je osazena tzv. diskovým motorem MAXON EC 45 - FLAT a převodovkou MAXON GP42 – C, viz tab. 4. Motor i převodovka jsou pro své rozměry umístěny pod rameno robota, viz obr 5.1. Pro přenos krouticího momentu z převodovky na čelisti je použito čelní ozubené soukolí a kůželové soukolí, které pohání pohybový šroub s čelistmi. Pohybový šroub je díky smykovému tření a relativně malé účinnosti samosvorný a není nutné použít brzdu nebo pružiny.

Čelisti jsou snadno vyměnitelné a lze je nahradit čelistmi s tvarovým stykem, díky tomu je efektor velmi univerzální. Celá konstrukce bude zakrytovaná, a kryt bude navrhnout tak, aby bylo možné využít technologii 3D tisku.

**Technická data:**

Motor	
MAXON EC 45-FLAT	
Výkon	30 W
Krouticí moment	123 mNm
Optimální otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	260 g
Převodovka	
MAXON GP 42 – C	
Typ	Planetová
Převodový poměr	126
Max. moment	15Nm
Účinnost	72%
Hmotnost	460 g
Přenos točivého momentu na čelisti	
Čelní soukolí	
Převodový poměr	1,6
Kružlové soukolí	
Převodový poměr	1
Efektor	
Hmotnost	1,3 kg
Přítlačná síla	355 N
Rozsah pohybu	0 – 90 mm

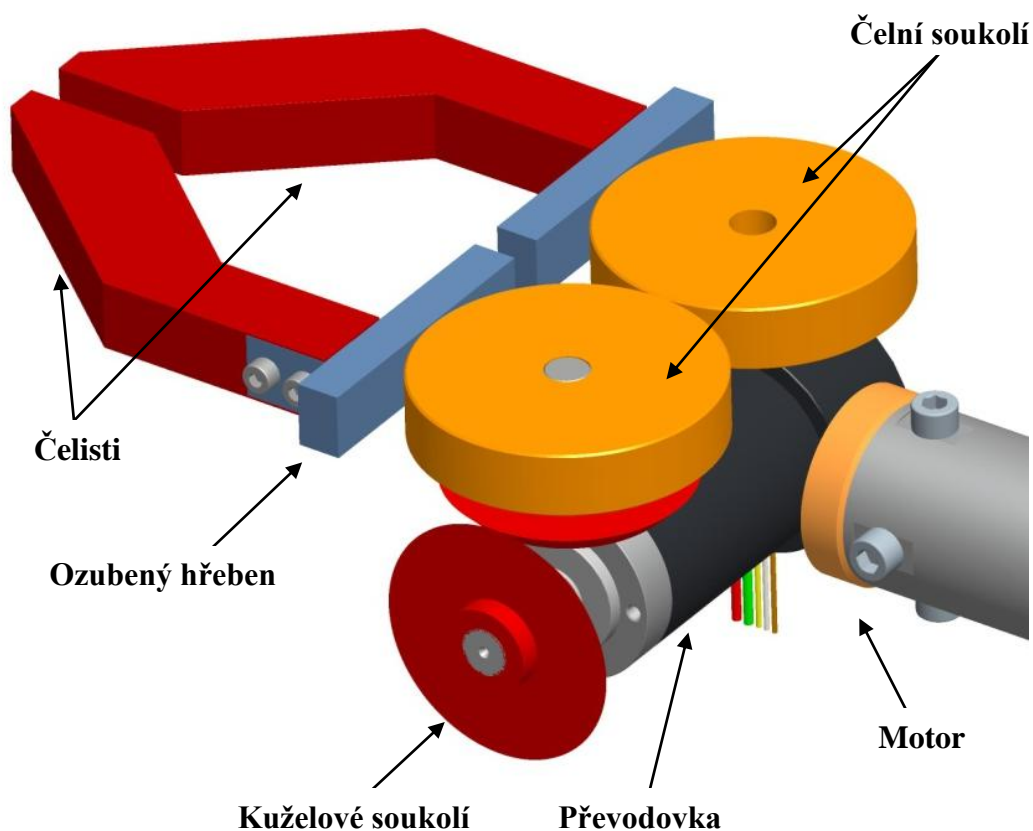
*Tab. 4 – Technická data***Výhody:**

- Samosvornost šroubu a z toho vyplývající bezpečnost uchopení.
- Umístění motoru pod ramenem robotu a z toho vyplývající poměrně malá tělová část.

**Nevýhody:**

- Větší rozměry motoru nedovolují jeho umístění do ramene motoru.
- Složitost konstrukce.
- Malý rozsah pohybu.

## 5.2 Varianta II



*Obr. 5.2 – Varianta II*

Pro variantu II je použit motor MAXON EC 45 - FLAT a převodovkou MAXON GP42 – C, viz tab. 5. Motor je kvůli konstrukci umístěn kolmo na rameno robota, viz obr. 5.2. Celý efektor je díky této konstrukci mírně vyosený a zvyšuje momentové zatížení ramene. Krouticí moment je z převodovky přenášen pomocí kuželového soukolí na pastorky s ozubenými hřebeny.

Čelisti jsou snadno vyměnitelné a lze je nahradit čelistmi s tvarovým stykem, díky tomu je efektor velmi univerzální. Celá konstrukce bude zakrytovaná, a kryt bude navrhnout tak, aby bylo možné využít technologii 3D tisku.



**Technická data:**

Motor	
MAXON EC 45-FLAT	
Výkon	30 W
Krouticí moment	98 mNm
Optimální otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	260 g
Převodovka	
MAXON GP 42 – C	
Typ	Planetová
Převodový poměr	156
Max. moment	15Nm
Účinnost	72%
Hmotnost	460 g
Přenos točivého momentu na čelisti	
Kuželové soukolí	
Převodový poměr	1,6
Efektor	
Hmotnost	1,4 kg
Přítlačná síla	365 N
Rozsah pohybu	0 – 80 mm

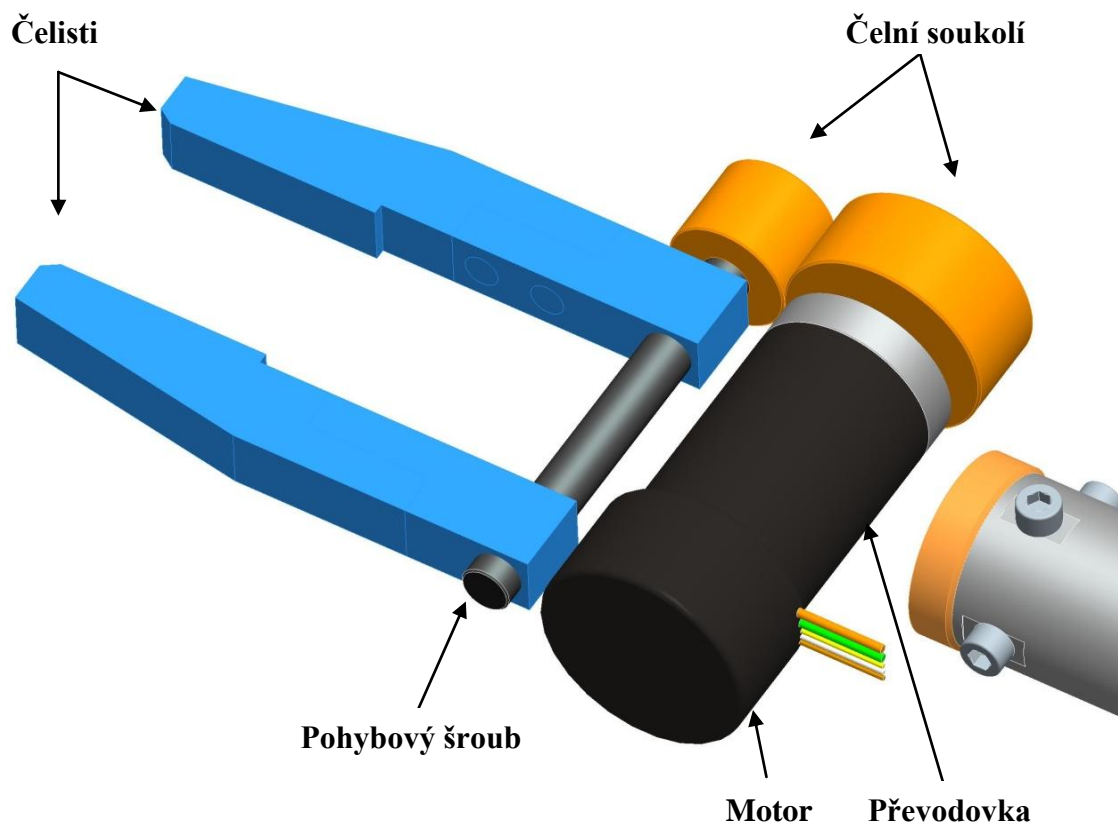
*Tab. 5 – Technická data***Výhody:**

- Poměrně velká přítlačná síla.
- Poměrně malá tělová část efektoru.

**Nevýhody:**

- Motor je umístěn mimo osu a tím dochází k vyosení celého efektoru.
- Momentové zatížení v důsledku vyosení efektoru.
- Malý rozsah pohybu čelistí.
- Vysoká hmotnost.

### 5.3 Varianta III



*Obr. 5.3 – Varianta III*

Varianta III používá, stejně jako varianta I, k transformaci rotačního pohybu motoru na posuvný pohyb čelistí, pohybový šroub. Rozdíl je však v přenosu krouticího momentu z motoru MAXON EC 45 - FLAT a převodovky MAXON GP42 – C, který je přenášen čelním ozubeným soukolím přímo na pohybový šroub. Stejně jako u varianty I, je pohybový šroub samosvorný a není nutné použití brzdy nebo pružiny.

Motor je umístěn kolmo k ramenu robotu a celá konstrukce je mírně vyosená, viz obr. 5.3, což vede k většímu momentovému zatížení ramene.

Čelisti jsou snadno vyměnitelné a lze je nahradit čelistmi s tvarovým stykem, díky čemuž je efektor velmi univerzální.

**Technická data:**

Motor	
MAXON EC 45-FLAT	
Výkon	30 W
Krouticí moment	123 mNm
Optimální otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	260 g
Převodovka	
MAXON GP 42 – C	
Typ	Planetová
Převodový poměr	126
Max. moment	15Nm
Účinnost	72%
Hmotnost	460 g
Přenos točivého momentu na čelisti	
Kruželové soukolí	
Převodový poměr	1,6
Efektor	
Hmotnost	1,5 kg
Přítlačná síla	360 N
Rozsah pohybu	0 – 90 mm

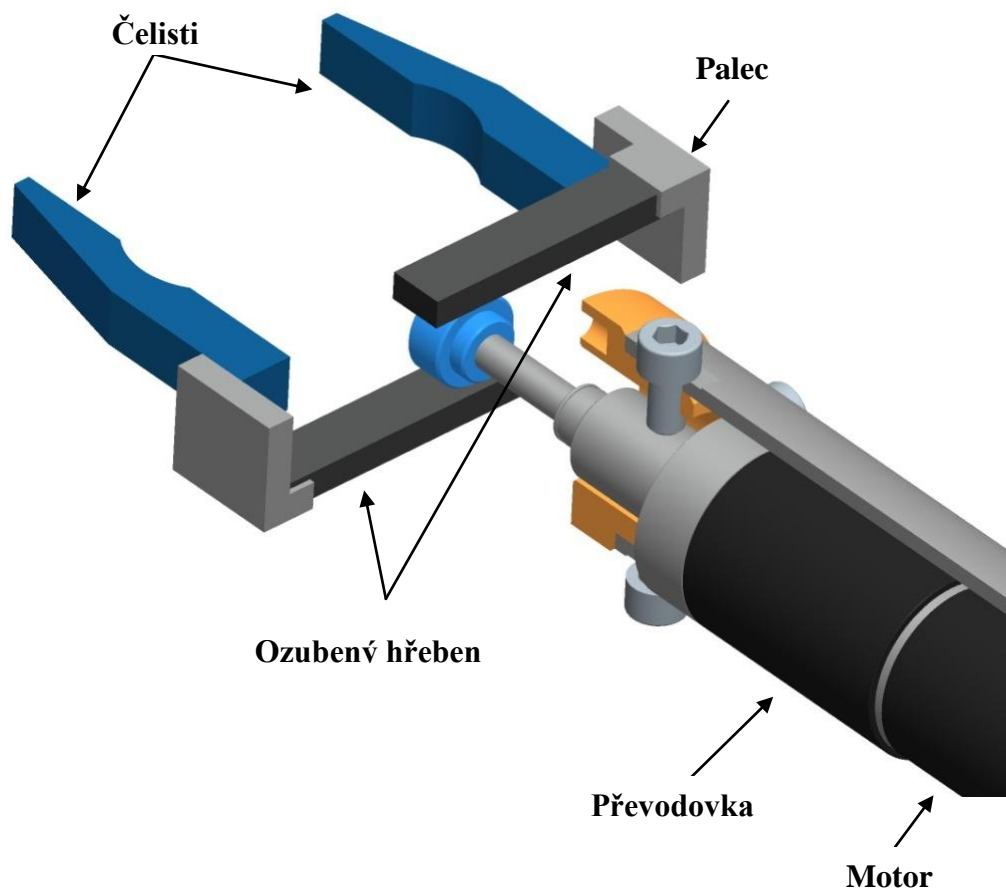
*Tab. 6 – Technická data***Výhody:**

- Jednoduchá konstrukce.
- Poměrně malá tělová část.
- Samosvornost.

**Nevýhody:**

- Poměrně vysoká hmotnost.
- Větší momentové zatížení ramene, v důsledku vyosení konstrukce.

## 5.4 Varianta IV



*Obr. 5.4 – Varianta IV*

Varianta IV využívá motor MAXON EC max 30 a planetovou převodovku MAXON GP 32 HP. Tato varianta má jako jedinou pohonnou jednotku umístěnou v rameni mobilního robota Herkules, viz obr. 5.4.

Transformaci rotačního pohybu na pohyb translační zajišťuje pastorek s dvojicí ozubených hřebenů. Na každý hřeben je přimontován „palec“, na který lze snadno namontovat vyměnitelné čelisti optimální pro danou operaci, což dělá efektor velmi univerzálním.

Bezpečnost je zajištěna velkým převodovým poměrem převodovky, který udrží OM i při výpadku energie. Celá konstrukce bude zakrytovaná, a kryt bude navrhnut tak, aby bylo možné využít technologii 3D tisku.

**Technická data:**

Motor	
MAXON EC max 30	
Výkon	30 W
Krouticí moment	22.8 mNm
Optimální otáčky	9140 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	163 g
Převodovka	
MAXON GP 32 – HP	
Typ	Planetová
Převodový poměr	411
Max. moment	8 Nm
Účinnost	60%
Hmotnost	249 g
Efektor	
Hmotnost	1,3 kg
Přítlačná síla	370 N
Rozsah pohybu	0 – 100 mm

*Tab. 6 – Technická data***Výhody:**

- Jednoduchá konstrukce.
- Poměrně malá tělová část.
- Vyměnitelné čelisti.

**Nevýhody:**

- Nutnost lineárního vedení, což se projeví na hmotnosti.

## 7 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza se používá k výběru optimální varianty. Tato analýza spočívá v porovnávání jednotlivých kritérií, viz tab. 4, která volíme na základě požadavkového listu.

### 7.1 Hodnocená kritéria

Označení kritéria	Název kritéria	Popis kritéria
1	Hmotnost	minimalizace hmotnosti max. 1,5 kg
2	Uchopovací síla	Síla vyvinuta čelistmi na OM
3	Konstrukce	Jednoduchá konstrukce s ohledem na výrobní možnosti katedry
4	Momentové zatížení ramene	Minimalizace momentového zatížení koncového členu ramene robotu
5	Univerzálnost použití	Možnost výměny čelistí, rozsah pohybu čelistí

*Tab. 4 – Kritéria*

### 7.2 Hodnoty kritérií

Vysoká úroveň	6b
Dobrá úroveň	5b
Průměrná úroveň	4b
Nízká úroveň	3b
Nevyhovující úroveň	2b
Nepříznivý stav	1b

### 7.3 Určení významnosti kriterií

Trojúhelníková metoda porovnávání párů						
Porovnávané páry kriterií				Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
K1	K1	K1	K1	0	5.	1
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3,5	1.	1,875
	K3	K4	K5			
		K3	K3	2	3.	1,5
		K4	K5			
			K4	3	2.	1,75
			K5	1,5	4.	1,375

Tab. 5 – Metoda porovnávání párů

### 7.4 Hodnocení jednotlivých variant

Hodnocení jednotlivých kriterií variant					
	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4	Kritérium 5
	Hmotnost	Uchopovací síla	Konstrukce	Momentové zatížení	Univerzálnost použití
Varianta I	3	4	3	4	3
Varianta II	6	4	4	2	4
Varianta III	2	3	4	3	3
Varianta IV	5	5	4	4	4

Tab. 6 – Hodnocení jednotlivých kriterií

## 7.5 Výpočet celkových indexů variant a výběr optimální varianty

Po přidělení bodů jednotlivým variantám, byly tyto body vynásobeny vahou významnosti (určení vah významnosti pro jednotlivá kritéria, viz tab. 5) a byl proveden celkový součet vážených indexů, který určil optimální variantu.

Porovnání variant									
Kriteriu m	Váha významnosti	Varianta I		Varianta II		Varianta III		Varianta IV	
		b	Vážený index	b	Vážený index	b	Vážený index	b	Vážený index
<b>K1</b>	1,000	3	3	6	6	2	2	5	5
<b>K2</b>	1,875	4	7,5	4	7,5	3	5,625	5	9,375
<b>K3</b>	1,500	3	4,5	4	6	4	6	4	6
<b>K4</b>	1,750	4	7	2	3,5	3	5,25	4	7
<b>K5</b>	1,375	3	4,125	4	5,5	3	4,125	4	5,5
Celkový součet vážených indexů			26,125		28,5		23		<b>32,875</b>

*Tab. 7 – Hodnocení jednotlivých kritérií*

## 7.6 Zhodnocení vybrané varianty

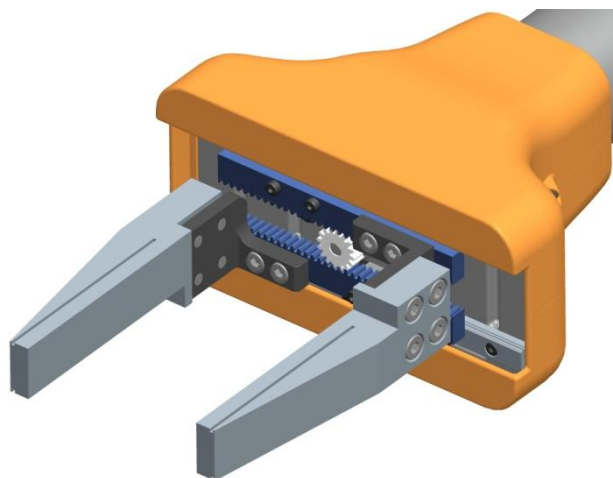
Z hodnotové analýzy vyšlo jako optimální řešení, varianta IV, která nabízí ideální poměr hmotnosti a úchopné síly. Dále má jako jediná motor umístěný uvnitř ramene a momentové zatížení je ve srovnání s ostatními variantami minimální. U této varianty není potřeba použít brzdu, protože samosvornost převodovky zajišťuje bezpečné udržení OM i při výpadku energie.

Nabízí také plnohodnotný vnější i vnitřní úchop OM a díky vyměnitelným čelistem nabízí univerzální použití.



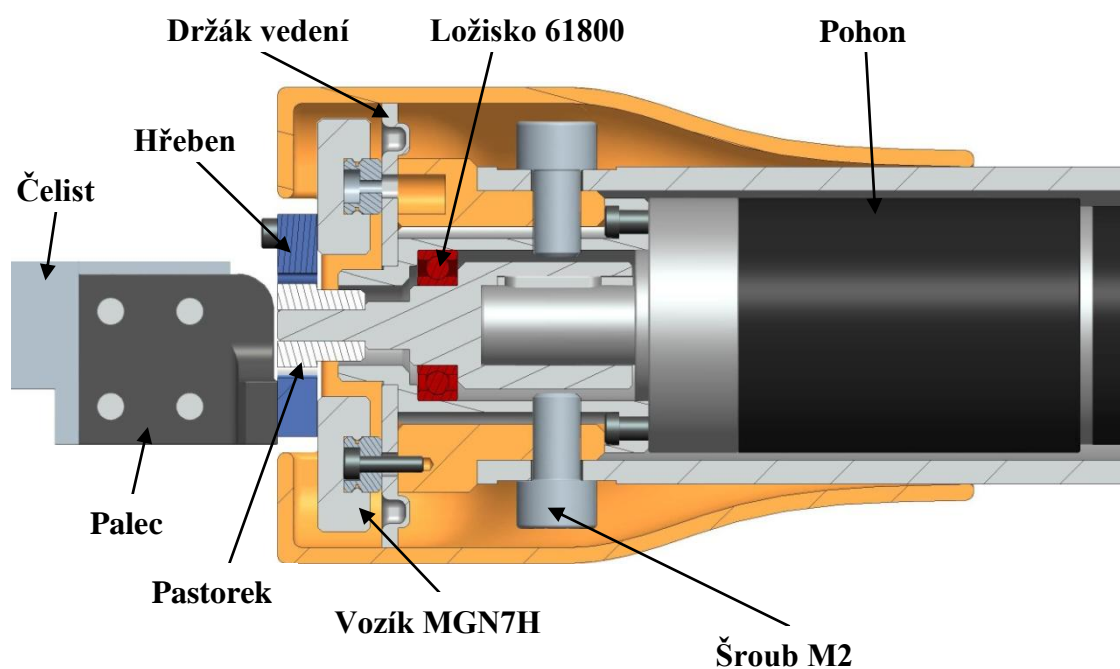
## 8 Konstrukce efektoru

Efektor je navržen s EC max motorem a planetovou převodovkou od firmy MAXON. Parametry pohonu jsou uvedeny v kapitole 9. Motor s převodovkou jsou umístěny uvnitř ramene robota. Transformační ústrojí se skládá z ozubeného pastorku a dvou proti sobě zabírajících ozubených hřebenů. Zajištění přesného pohybu ozubených hřebenů obstarává lineární vedení, viz kapitola 8.1.

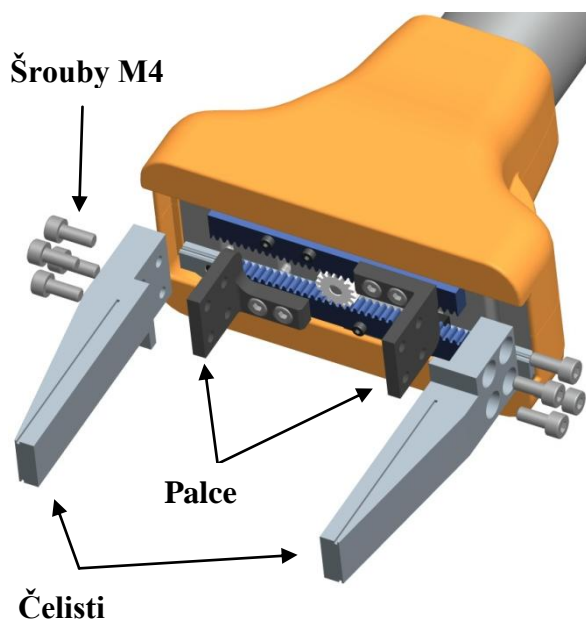


*Obr. 8.1*

Efektor je navržen s vyměnitelnými čelistmi. Ty se šroubují čtyřmi šrouby na palec, které jsou spojeny s hřebeny, což zajišťuje jednoduchou a rychlou výměnu, viz obr. 8.3. Čelisti jsou navrženy tak, aby na ně bylo možné v případě potřeby nasunout druhé čelisti, což dělá efektor univerzálnějším. Přesné nasunutí druhých čelisti zajišťují dvě drážky po bocích čelistí a zajištění je realizováno pomocí čepu.



*Obr. 8.2 – Řez efektoru*



Kryt se skládá ze dvou částí. Při volbě dělicí roviny byl brán ohled na jednoduchou montáž.

Kryt a čelisti jsou navrženy tak, aby byla možná výroba těchto částí na 3D – tiskárně, díky čemuž jsou sníženy výrobní náklady těchto částí.

Základní parametry efektoru jsou uvedeny v tab. 8.

*Obr. 8.3 – Vyměnitelné čelisti*

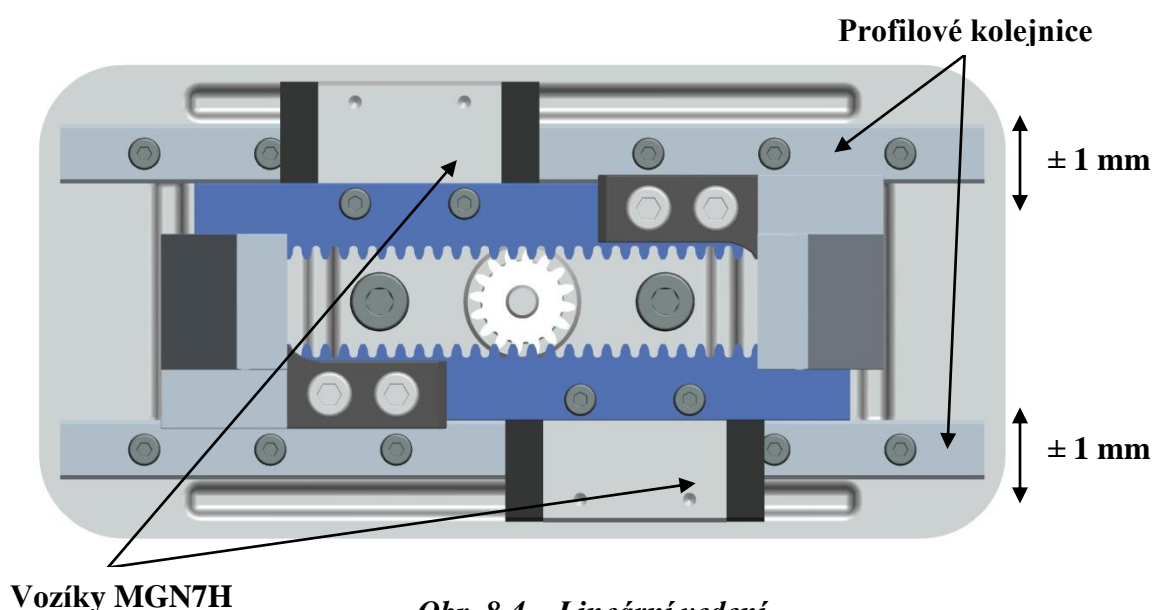
Parametry efektoru	
Rozsah rozevření čelistí	0 - 100 mm
Nosnost	4,5 kg
Hmotnost	950 g
Síla na čelistech	370 N
Poloha těžiště od interface	50 mm
Rychlost pohybu hřebenů	0,2 m/s

*Tab. 8 – Základní parametry efektoru*

## 8.1 Lineární vedení

Pro zajištění přesného pohybu ozubených hřebenů je použito miniaturní lineární vedení MGN od společnosti T.E.A. Technik. Toto vedení se skládá ze dvou profilových kolejnič MGNR7 o délce 110 mm a dvou vozíků MGN7H viz obr. 8.4.[10]

Kolejniče jsou nastavitelné v rozmezí  $\pm 1$  mm a jsou uchyceny k nosnému plechu, který je vyztužen prolisy, viz obr. 8.4. Celá konstrukce je nasazena na přírubu uchycující pohon. Zajištění proti pootočení obstarávají 2 šrouby M4, které jsou zašroubovány do interface ramene.



Obr. 8.4 – Lineární vedení

Profilová kolejničová vedení vyžadují dostatečné zásobování mazivy. Je možné mazání tukem i olejem. Maziva snižují opotřebení, chrání před nečistotami, zabraňují korozi a svými vlastnostmi prodlužují životnost.

Způsob mazání, množství a druh maziv je uveden v příloze [1].

## 9 Návrh pohonu

Návrh pohonu vychází z momentové podmínky. Moment na pastorku byl spočten na základě vztahu síla krát rameno, viz níže.

Výpočet momentu na pastorku		
$F = 370 \text{ N}$ $r = 6 \text{ mm}$	$M_{PaH} = F \cdot r$ $M_{PaH} = 370 \cdot 0,006$	$M_{PaH} = 2220 \text{ Nmm}$

Moment	
Moment na pastorku s hřebenem	$M_{PaH} = 2220 \text{ Nmm}$
Účinnost	
Účinnost převodovky	$\mu_p = 0,6$
Účinnost ložisek	$\mu_L = 0,99$
Účinnost pastorku s hřebenem	$\mu_{PaH} = 0,97$
Převodový poměr	
Převodový poměr v převodovce	$i_p = 411:1$

Tab. 9 – Základní parametry

### 9.1 Výpočet potřebného momentu

Výpočet výstupního momentu z převodovky		
$M_{PaH} = 2220 \text{ Nmm}$ $\mu_{PaH} = 0,97$ $\mu_L = 0,99$	$M_P = \frac{M_{PaH}}{\mu_{PaH} \cdot \mu_L}$ $M_P = \frac{2220}{0,97 \cdot 0,99}$	$M_P = 2311 \text{ Nmm}$

Výpočet momentu na motoru		
$M_p = 2120 \text{ Nmm}$ $i_p = 411$ $\mu_p = 0.6$	$M_p = \frac{M_{PaH}}{i_p \cdot \mu_p}$ $M_p = \frac{2311}{411 \cdot 0.6}$	$M_p = 9,38 \text{ Nmm}$

## 9.2 Výpočet potřebných otáček

Výpočet potřebných otáček na pastorku		
$v_H = 0,2 \text{ m/s}$ $r = 5,6 \text{ mm}$	$v_H = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_s$ $n_s = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r}$ $n_s = \frac{0,2}{2 \cdot \pi \cdot 5,6 \cdot 10^{-3}}$	$n_s = 5,7 \text{ ot/min}$
Výpočet otáček na motoru		
$n_s = 5,7 \text{ ot/min}$ $i_p = 411$	$n_p = n_s \cdot i_p$ $n_p = 5,7 \cdot 411$	$n_p = 2343 \text{ ot/min}$

### 9.3 Technické parametry pohonu

Motor	
EC-max 30 (272769)	
Výkon	30 W
Krouticí moment	32.8 mNm
Maximální moment	154 mNm
Nominální otáčky	9140 ot/min <sup>-1</sup>
Maximální otáčky	15 000 ot/min <sup>-1</sup>
Napájení	36 V
Hmotnost	163 g
Převodovka	
Planetary Gearhead GP 32 HP	
Převodový poměr	411
Maximální vstupní otáčky	8000 ot/min <sup>-1</sup>
Maximální moment	6 Mm
Účinnost	60 %
Hmotnost	249 g

*Tab. 10 – Technické parametry pohonné jednotky*

Na základě momentové podmínky byl zvolen pohon. Maximální moment byl spočítán na 9,38 mNm. Při výběru motoru bylo nutné mimo jiné dodržet maximální rozměry motoru, tak aby jej bylo možné umístit do ramena robotu a také cenu, která by měla být co nejmenší. Na základě těchto podmínek byl zvolen motor MAXON EC max 30 s nominálním krouticím momentem 32.8 mNm a průměrem 30 mm.[8]

Otáčky motoru byly výpočtem stanoveny na 2343 ot/min<sup>-1</sup> a doporučené vstupní otáčky do převodovky MAXON GP 32 HP jsou 8000 ot/min<sup>-1</sup>. Převodovky s převodovým poměrem 411 činí tuto pohonnou jednotku samosvornou a není nutné použití brzdy. Motor je schopen vyvinout dostatečnou sílu na čelisti pro udržení 4,5 kg OM.[9]

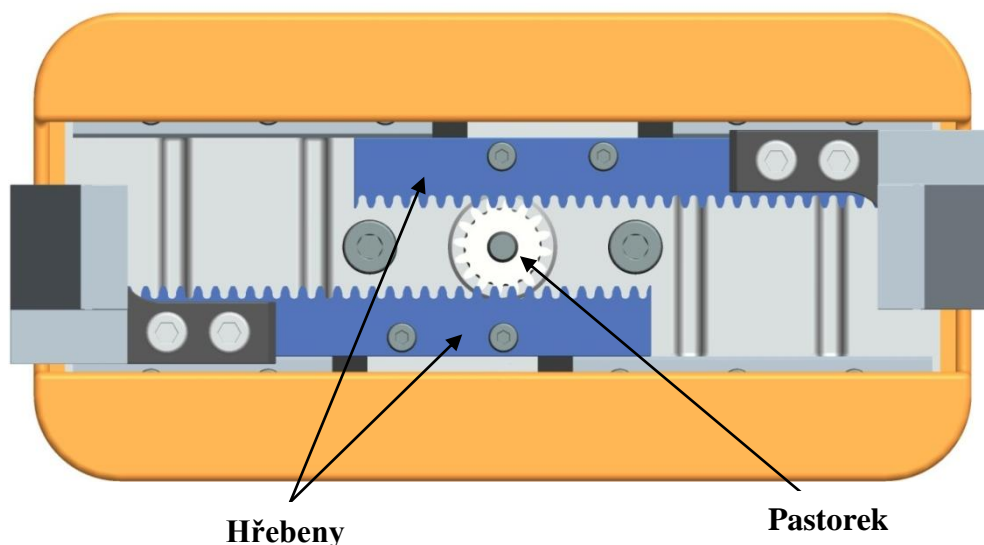
Základní technické parametry pohonné jednotky jsou v tabulce tab. 10.

## **10 Kontrola namáhaných částí**

Pro zajištění bezpečného chodu efektoru jsou všechny namáhané části zkontrolovány. Pro kontrolu je použit program MITCalc.

### **10.1 Kontrola ozubeného pastorku s hřebeny**

Pastorek je nakoupen jako polotovár u firmy TEA technik. Dále je upraven pro možnost uchycení na redukční hřídel.



*Obr. 10.1 – Pastorek s hřebeny*

#### **10.1.1 Návrh modulu**

Návrh modulu byl proveden v programu Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 a výsledky jsou uvedeny v příloze [2].

#### **10.1.2 Kontrola ozubeného pastorku**

Veškerá kontrola ozubení byla provedena na základě výukového podkladu Technické univerzity Liberec.[13]

Celý výpočet je uveden v příloze [3].

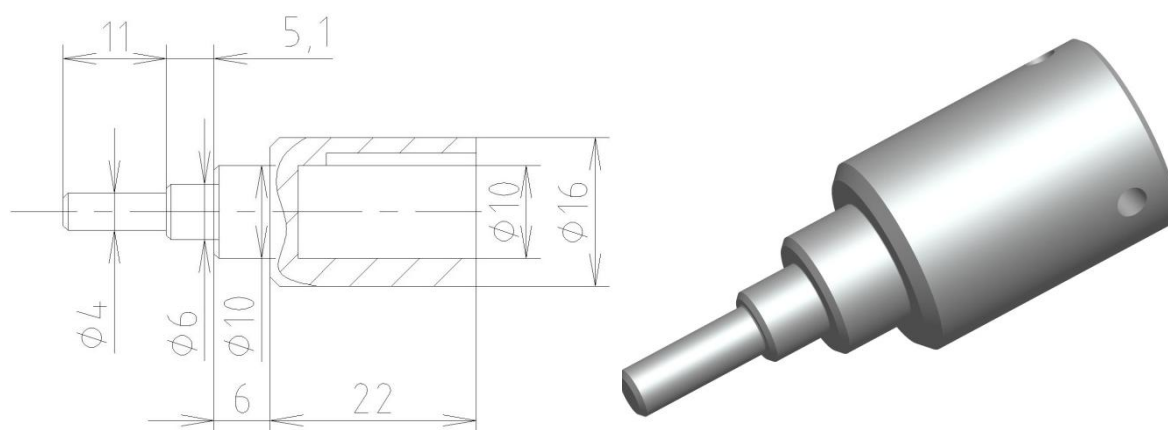
Pozn. Veškeré součinitele, byly vyčteny z tabulek z podkladu.

Základní parametry pastorku a hřebenu					
Pastorek			Hřeben		
Modul ozubení	m	0,7	Modul ozubení	m	0,7
Počet zubů	z	16	Počet zubů	z	34
Úhel záběru	$\alpha$	20°	Úhel záběru	$\alpha$	20°
Úhel sklonu zubů	$\beta$	0°	Úhel sklonu zubů	$\beta$	0°
Průměr roztečné kružnice	$d_1$	12,6 mm	Délka hřebenu	l	110 mm
Průměr hlavové kružnice	$d_{a1}$	11,2 mm	Šířka hřebenu	$b_2$	6 mm
Šířka pastorku	$b_1$	6 mm	Číslo výkresu		
Materiál	ETG 100				

Tab. 11 – základní parametry pastorku s hřebeny

## 10.2 Kontrola redukční hřídele

Pro přenos krouticího momentu z převodovky na pastorek slouží redukční hřídel, která redukuje velký průměr výstupní hřídele z převodovky. Návrh a kontrola hřídele byla provedena v programu MITCalc. Celý výpočet je uveden v příloze [4]. Základní rozměry a tvar hřídele viz obr. 10.2 (pozn. odkaz na výkrese [6]).



Obr. 10.2 – Redukční hřídel

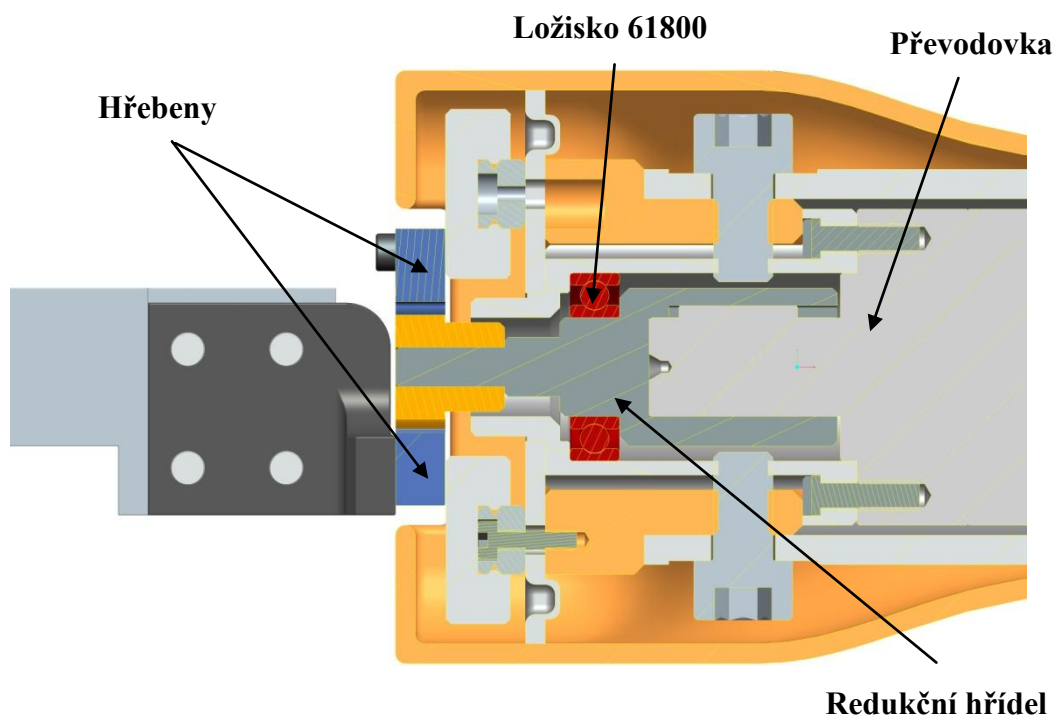


### 10.3 Kontrola pera

Spojení převodovky s redukční hřídelí zajišťuje pero těsné o šířce  $b = 3 \text{ mm}$ , výšce  $h = 3 \text{ mm}$  a délce  $l = 12 \text{ mm}$ , dodávané výrobcem převodovky. Pro kontrolu je proveden výpočet, zda pero vyhovuje. Dovolené napětí  $\sigma_d = 130 \text{ MPa}$ . Výpočet je uveden v příloze [5].

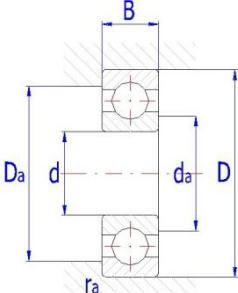
### 10.4 Kontrola ložiska

Pro uložení redukční hřídele je použité radiální kuličkové ložisko a ložisko obsažené v převodovce viz obr. 10.3. Kontrola ložisek je provedena v programu MITCalc. Reakce působící na ložiska jsou zjištěny z kontroly ozubení a následně přepočítány na hřídel v programu MITCalc.



*Obr. 10.3 – Uložení hřídele v ložisku*

Parametry ložisek			
Ložisko 61800			
<b>Základní rozměry</b>	d = 10 mm	D = 19 mm	B = 5 mm
<b>Základní trvanlivost</b>	184995 hod		
<b>Součinitel statické bezpečnosti</b>	2,54		



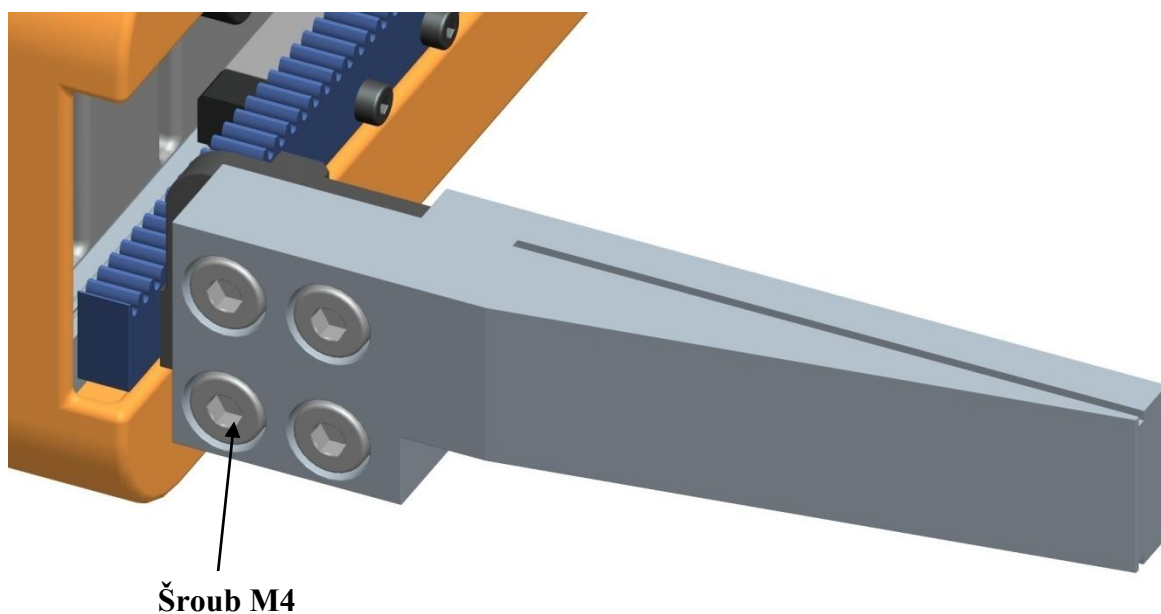
**Tab. 12 – Základní parametry ložiska**

Ložisko bylo zkontrolováno v programu MITCalc. Radiální sílu, kterou vyvozuje pastorek s hřebeny, zachycuje kuličkové ložisko 61800, viz tab. 12.[11]

Ložisko 61800 vyhovuje pro použití. Celý výpočet je uveden v příloze [6].

### 10.5 Kontrola šroubů spojujících čelisti s palci

Pro kontrolu a bezpečné uchopení, byly šrouby spojující čelisti zkontrolovány na tah v programu MITCalc. Výsledky jsou uvedeny v příloze [7].



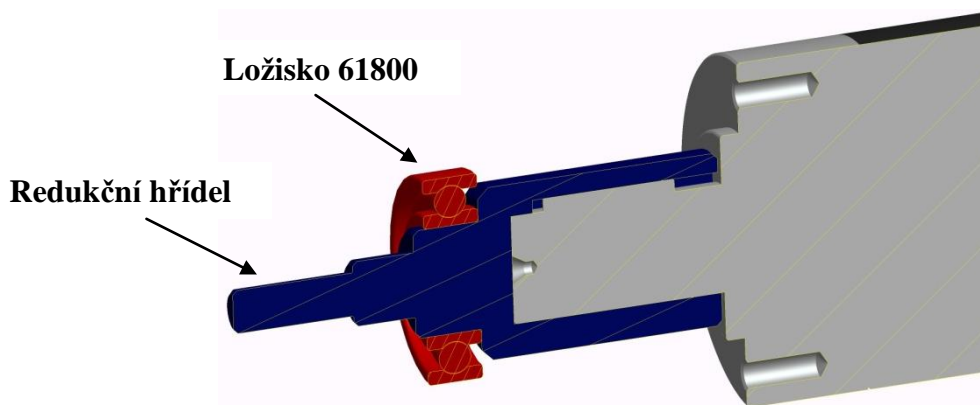
**Obr. 10.4 – Rozmístění šroubů M4**

## 11 Montážní postup

Pro lepší orientaci v montážním postupu odkazuji v závorkách na položky v sestavném výkresu.

### 11.1 Nasazení redukční hřídele s ložiskem

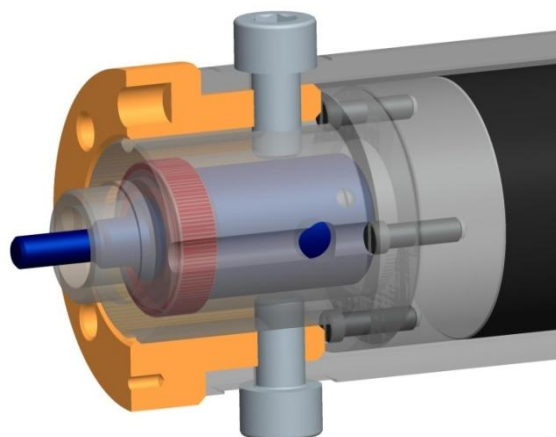
Na výstupní hřídel z převodovky (28), která je osazena perem, je nasazena redukční hřídel (6), na kterou je předem nalisováno ložisko SKF (15). Teplota ložiska a tlak potřebný k jeho nalisování je v technické dokumentaci výrobce ložiska. Po usazení hřídele, je hřídel zajištěna pomocí dvou stavěcích šroubů.



*Obr. 11.1 – redukční hřídel s ložiskem*

### 11.2 Spojení příruby s pohonem

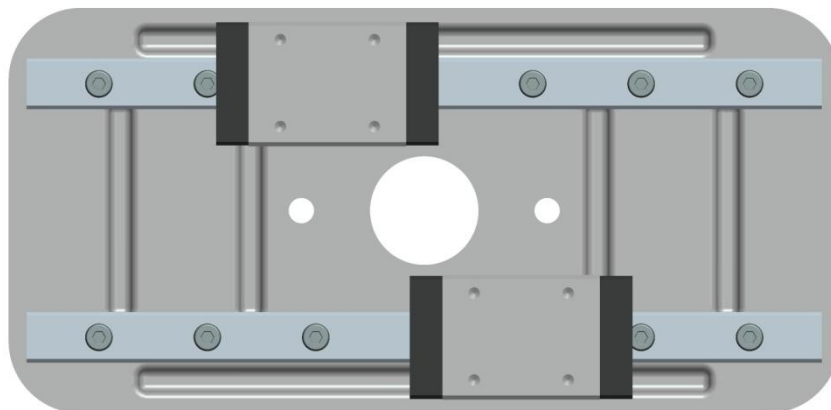
Příruba je přišroubována k převodovce pomocí 4 šroubů M3 (16) a je nalisována na osazenou hřídel s ložiskem. Nalisování probíhá opět dle předpisů daných výrobcem ložiska. Celý pohon s přírubou je následně vložen do ramene robotu, kde je spojen pomocí 4 šroubů M6 (17) k interfacu ramene (8), viz obr. 11.2.



*Obr. 11.2 – Spojení pohonu s ramen robotu*

### 11.3 Montáž vedení

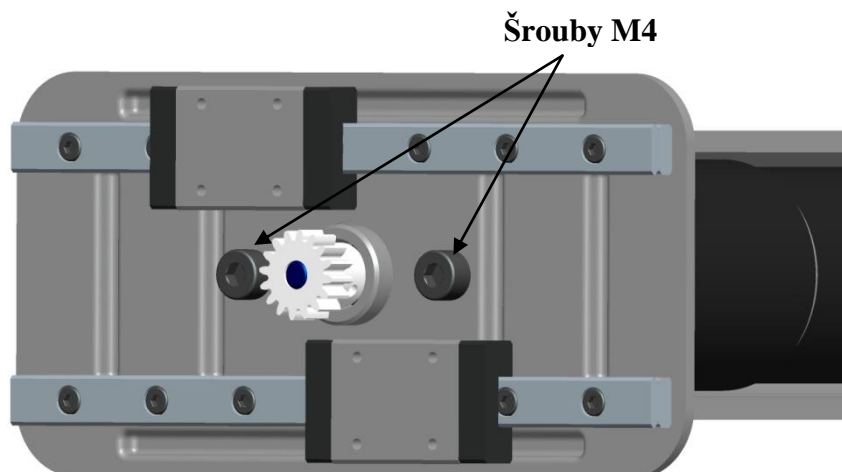
Na plech vyztužený prolisy (7), jsou namontovány vodící kolejnice (17), které jsou upevněny za pomoci šroubů s maticemi M2 (21,22) a jsou nastavitelné v rozmezí  $\pm 1$  mm. Na kolejnice jsou nasazeny lineární vozíky MGN7H (14), viz obr. 11.3. Lineární vedení je nutno před prvním použitím dostatečně promazat.



*Obr. 11.3 – Lineární vedení*

### 11.4 Montáž vedení na přírubu

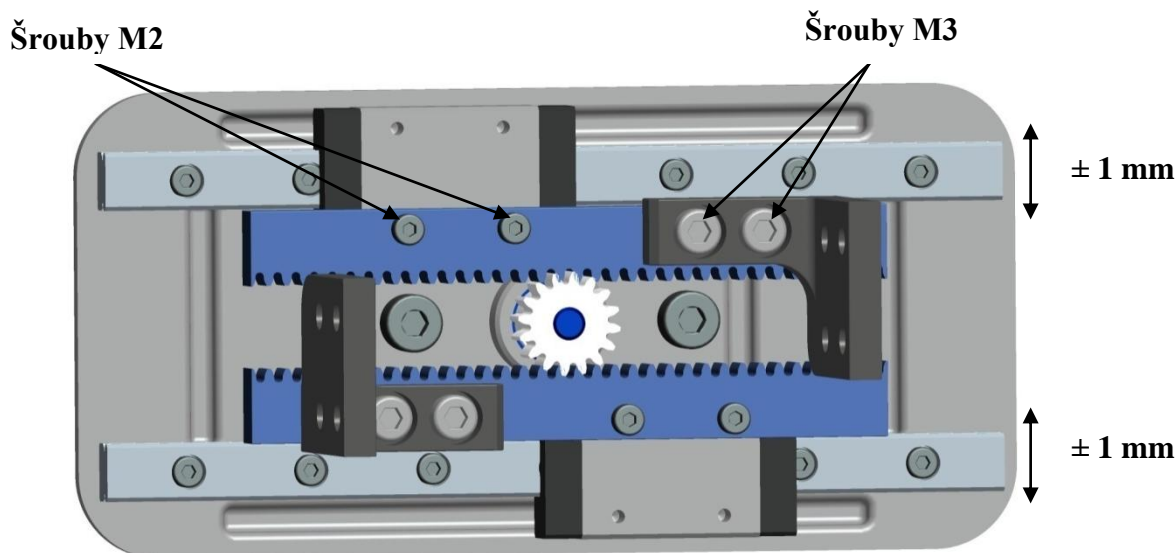
Smontovaná podsestava je nasazena na přírubu a doléhá na interface ramene. Přišroubováním podsestavy k interfacu pomocí dvou šroubů M4 (24), je zabráněno pootočení podsestavy, viz obr. 11.4. Následně je nasazen pastorek (10) na hřídel a zajištěn dvojicí stavěcích šroubů M3 (23).



*Obr. 11.4*

## 11.5 Spojení hřebenů s lineárním vedením

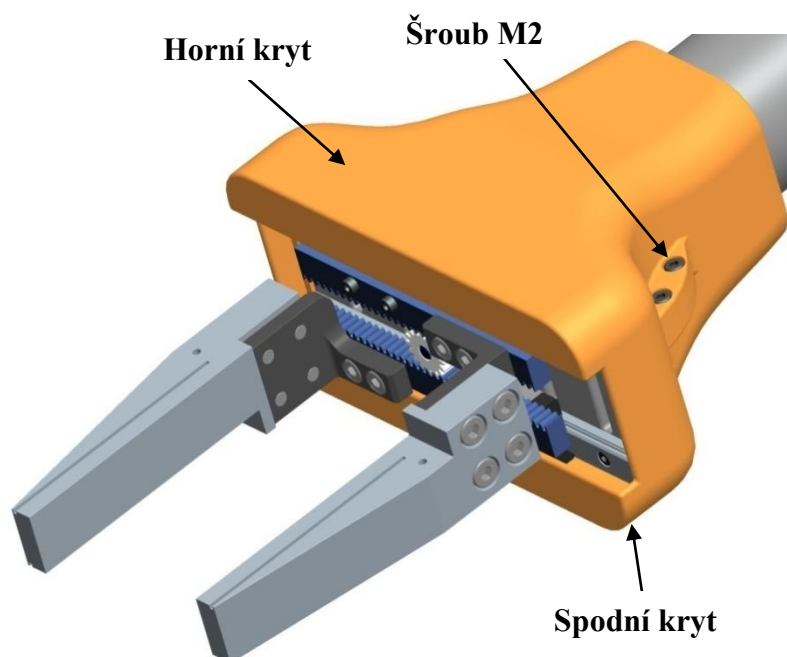
Nejdříve jsou palce (2) smontovány s ozubenými hřebeny (13), pomocí 2 šroubů M3 (19). Následně jsou spojeny s vozíky MGN7H dvěma šrouby M2 (18). Pro dosažení optimálního záběru hřebenu s pastorkem, je možno upravit nastavení kolejnic.



Obr. 11.5 – Hřebeny s palci

## 11.6 Našroubování čelistí a nasazení krytu

V dalším kroku jsou na palce přišroubovány, čtyřmi šrouby M4 (20), výměnné čelisti (1). Nakonec je na celou konstrukci nasazen spodní a horní kryt (3,4), který se nasouvá na nosný plech lineárního vedení. Spodní a horní kryt jsou sešroubovány čtveřicí šroubů M2 (24), viz obr. 11.6.



Obr. 11.6 – Efektor

## 12 Řízení efektoru

Mobilní robot Herkules je osazen dvojicí minipočítačů (Via EPIA a netbook Asus EE), jeden se stará o řízení pohybu manipulátoru a zpracovávání signálu senzorů a druhý snímá a komprimuje obraz z kamer. Oba počítače komunikují s klientskou aplikací (operátorský kufřík) pomocí Wi-Fi.

### Řízení

Sevření efektoru je řízeno momentově, což znamená, že řídicí jednotka v závislosti na odebraném proudu, řídí vyvozenou sílu na čelistech.

Koncová poloha pro rozevření je zajištěna vizuálním pohledem pomocí kamery umístěné na rameni robotu, viz obr 12.1.

Při potřebě regulovat sílu uchopení, je možné opatřit pohonnou jednotku enkoderní firmou MAXON, viz tab. 13.[17]



**Obr. 12.1 – Herkules**

Encoder MR, Type ML	
Základní parametry	
Počet sepnutí za otáčku	1000
Počet kanálů	3
Max. provozní frekvence	200 kHz
Rozsah provozních teplot	-25 – 85 °C
Hmotnost	40 g
Cena	1960 Kč

**Tab. 13 – Základní parametry encoderu**

### 13 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení				
Položka	Komponent	Počet	Kč / kus	Cena
1	Kryt 01	1	155,-	155,-
2	Kryt 02	1	145,-	145,-
3	Čelist	2	58,-	106,-
4	Palec	2	150,-	300,-
5	Příruba na uchycení pohonu	1	360,-	360,-
6	Hřídel - redukce	1	245,-	245,-
7	Držák vedení	1	265,-	265,-
8	Pastorek	1	432,-	432,-
9	Hřeben	2	318,-	636,-
10	Šroub M3 x 10 ČSN 02 1130.20	4	0,96,-	3,84,-
11	Šroub M6 x 11 ISO 4762 -12.9	4	1,20,-	4,80,-
12	Šroub M2 x 8 ISO 4762 -12.9	4	0,46,-	1,84,-
13	Šroub M3 x 7 ISO 4762 -12.9	4	0,33,-	1,32,-
14	Šroub M4 x 10 ISO 4762 -12.9	4	0,61,-	2,44,-
15	Šroub M2 x 8 ISO 4762 -12.9	13	0,46,-	5,93,-
16	Šroub M2,5 x 3 ISO 4766 14H	2	0,93,-	1,86,-
17	Šroub M4 x 8 ISO 4762 -12.9	2	0,56,-	1,12,-
18	Šroub M2,5 x 8 ISO 4762 -12.9	4	0,53,-	2,12,-
19	Šroub M2 x 2,5 ISO 4766 14H	2	1,06,-	2,12,-
20	Profilová kolejnice MGNR7	2	509,-	1018,-
21	Lineární vozík MGN7H	2	732,-	1464,-
22	Ložisko 61800		40,-	40,-
23	Planetary Gearhead GP 32 HP	1	4740,-	6050,-
24	MAXON EC- max 30 (272769)	1	3883,-	4950,-
Celková cena				<b>13816,5,-</b>

**Tab. 14 – Ekonomický návrh**

Cena položek 1 - 9 byla stanovena na základě odhadu a porovnání cen podobných produktů. Cena položek 10 – 19 je čerpána od výrobce těchto šroubů. Ceny ostatních položek jsou stanoveny na základě katalogů výrobců.[10][11][12][14]



## **14 Závěr**

Na základě požadavkového listu byly zpracovány varianty řešení a z nich byla pomocí hodnotové analýzy vybrána optimální řešení, varianta IV. Ta byla zpracována do konečné podoby, viz obr 8.1.

Pohonná jednotka efektoru je od firmy MAXON. Vysoký převodový poměr převodovky, dělá pohonnou jednotku samosvornou, čímž je zajištěno bezpečné uchopení OM. Krouticí moment z převodovky je přenášen na pastorek s hřebeny. Přesný pohyb hřebenů, zajišťuje lineární vedení firmy TEA technik. Pro snížení ceny jsou části jako čelisti a kryt navrženy pro výrobu na 3D tiskárně.

Součástí práce je kompletní a podrobný 3D model v programu Pro/ENGINEER wildfire 4.0 a výkresová dokumentace v programu AutoCad 2009. Namáhané součásti efektoru byly zkontrolovány ručně nebo v programu MITCalc.

V kapitole 13 bylo zpracováno ekonomické zhodnocení efektoru, viz tab. 14. Cena efektoru byla stanovena na 13 816,5 Kč. V ceně je nutná započítat rezervu  $\pm 10\%$  z důvodu proměnlivého kurzu dolaru a koruny. Výsledná cena se tedy rovná 15 198 Kč.

## **15 Seznam použité literatury**

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB – TU Ostrava, 2004. 144s.  
ISBN 80-248-0626-6.
- [2] KÁRNÍK, L. – KNOFLÍČEK, R. – MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁFRY SLEZSKO, 2000. 210S. ISBN 80-902746-2-5.
- [3] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] SKAŘUPA, J. *Roboty a manipulátory I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 136 s. ISBN 80-248-0044-6.
- [5] SKAŘUPA, J. – ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. Ostrava, 1993 1. Vydání, 126s. ISBN 80-7078-304-4.
- [6] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování*. Ostrava, 1993, 1. Vydání. 158s. ISBN 80-7078-167-X.
- [7] LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. Vydání. Praha: Albra, 2006, 903s. ISBN 80-7078-204-5.

### **Internetové zdroje:**

- [8] [elektromotory]. Maxon motor. [cit. 2010 – 05 – 15]  
[http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets\\_external/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Katalog\\_PDF/maxon\\_ec\\_motor/EC-max-programm/new/newpdf\\_09/EC-max-30-272766\\_09\\_EN\\_170.pdf](http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets_external/Katalog_neu/eshop/Downloads/Katalog_PDF/maxon_ec_motor/EC-max-programm/new/newpdf_09/EC-max-30-272766_09_EN_170.pdf)
- [9] [převodovky]. Maxon motor. [cit. 2010 – 05 – 15]  
[http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets\\_external/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Katalog\\_PDF/maxon\\_gear/Planetengetriebe/new/newpdf\\_09/GP-32-C-166930\\_09\\_EN\\_235-236.pdf](http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets_external/Katalog_neu/eshop/Downloads/Katalog_PDF/maxon_gear/Planetengetriebe/new/newpdf_09/GP-32-C-166930_09_EN_235-236.pdf)

- [10] [lineární vedení s oběhovými kuličkami]. TEA technik. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://www.teatechnik.cz/katalogy-stazeni/>
- [11] [ložiska]. SKF. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=cs&imperial=false&windowName=null&perfid=101002&prodid=1010021800>
- [12] [pastorek]. TEA technik. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://www.teatechnik.cz/katalog/ozubeni-prevody/celni-ozubena-kola/nabojem/>
- [13] [pevnostní výpočet]. TU Liberec. [cit. 2010 – 05 – 15]  
[http://www.kst.tul.cz/podklady/casti\\_fs/podklady/Navrh\\_a\\_pevnostni\\_vypocet\\_ozubenych\\_kol.pdf](http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady/Navrh_a_pevnostni_vypocet_ozubenych_kol.pdf)
- [14] [šrouby s válcovou hlavou]. Akros. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://www.akros.cz/srouby-s-valcovou-hlavou-s-vnitrim-sestihranem-din-912/a2/prod/>
- [15] [mobilní roboty]. Police robot. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://www.policeone.com/police-technology/robots/>
- [16] [mobile robots]. Talon. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://foster-miller.qinetiq-na.com/lemming.htm>
- [17] [Herkules]. VŠB. [cit. 2010 – 05 – 15]  
<http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/>

## **16 Seznam příloh**

### **Kontrolní výpočty**

- [1] Způsob mazání, množství a druh maziv.
- [2] Návrh modulu pastorku a hřebenů.
- [3] Pevnostní kontrola pastorku.
- [4] Kontrola redukční hřídele v programu MITCalc.
- [5] Kontrola pera v programu MITCalc.
- [6] Návrh a kontrola ložiska v programu MITCalc.
- [7] Kontrola šroubů M4 v programu MITCalc.

### **Výkresová dokumentace**

- [8] Sestavný výkres efektoru BC\_EF\_HOM066.DWG.

### **V elektronické podobě**

- [9] 3D model efektoru EFEKTOR.ASM.
- [10] Výkresová dokumentace v programu AutoCad.